

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



**SCUOLA POLITECNICA DELLE SCIENZE DI BASE
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA INDUSTRIALE**

**CORSO DI LAUREA MAGISTRALE IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

**TORRI DI RAFFREDDAMENTO PER IMPIANTI DI SOLAR
COOLING AD ALTA TEMPERATURA**

RELATORE:

CH.MO PROF. ING. FRANCESCO CALISE

CH.MO PROF. ING. MASSIMO DENTICE D'ACCADIA

CORRELATORE:

ING. MARCO SCARPELLINO

ING. MARIA VICIDOMINI

CANDIDATO

ANNA MARIA ROSANOVA

M67/152

ANNO ACCADEMICO 2013/2014

L'energia è il motore dell'economia moderna e sempre più condizione essenziale per lo sviluppo e il benessere, soprattutto in un mondo ormai globalizzato. A causa della riduzione dei quantitativi di petrolio sul pianeta, il suo prezzo è aumentato e gli esperti ritengono che questo possa raggiungere in seguito valori inaccettabili.

Nel mercato dell'energia, le grandi aziende che operano in campo energetico investono sempre di più in nuove forme di energia e in energie alternative, tra cui l'energia solare, che ha registrato importanti sviluppi negli ultimi anni.

Nell'ambito delle rinnovabili, il solar heating and cooling (SHC) è una delle più attrattive. Sono disponibili numerose configurazioni di impianti SHC, sia per quanto riguarda i collettori solari che le macchine frigorifere ad azionamento termico. Il giusto accoppiamento tra collettori solari e macchina ad azionamento termico è di fondamentale importanza per il raggiungimento un'elevata efficienza e di una buona redditività economica. La scelta più comune è quella dei refrigeratori ad assorbimento, che possono essere mono o bistadio, e l'utilizzo di pannelli ad alta temperatura, quali a tubi evacuati o a concentrazione. La combinazione di tubi evacuati e assorbitore a singolo stadio determina scarsa redditività economica e densità di potenza, con coefficienti di prestazione (COP) pari a circa 0,6 – 0,7; per questo motivo, si necessita di grandi campi solari per coprire il fabbisogno.

Valori maggiori di redditività si riscontrano con un assorbitore a doppio effetto (COP circa 1,4), che richiede temperature ancora più elevate, tali da richiedere pannelli a concentrazione. Questi pannelli hanno elevate temperature di esercizio, ma richiedono particolari condizioni per un ottimo utilizzo. Per questo motivo, ricorrono spesso problemi di tracking, della perdita focale dovuta ad usura o urti, della polvere che si accumula e non riflette la radiazione necessaria per l'alta temperatura.

L'obiettivo di questo elaborato è stata l'analisi di un prototipo di solar cooling installato in Medio – Oriente dall'azienda TVPsolar, con innovativi pannelli piani evacuati, con particolare attenzione all'impianto di raffreddamento dell'acqua all'assorbitore bistadio, ovvero la torre di raffreddamento.

I componenti principali dell'impianto sono:

- ✓ collettori solari: 50 pannelli divisi in 5 file;
- ✓ serbatoio di accumulo termico;
- ✓ pompa;
- ✓ gruppo frigorifero ad assorbimento, con torre di raffreddamento e gas burner inclusi;

A queste si aggiungono:

- ✓ strumenti di misura;
- ✓ tubazioni;

✓ apparecchiature di sicurezza.

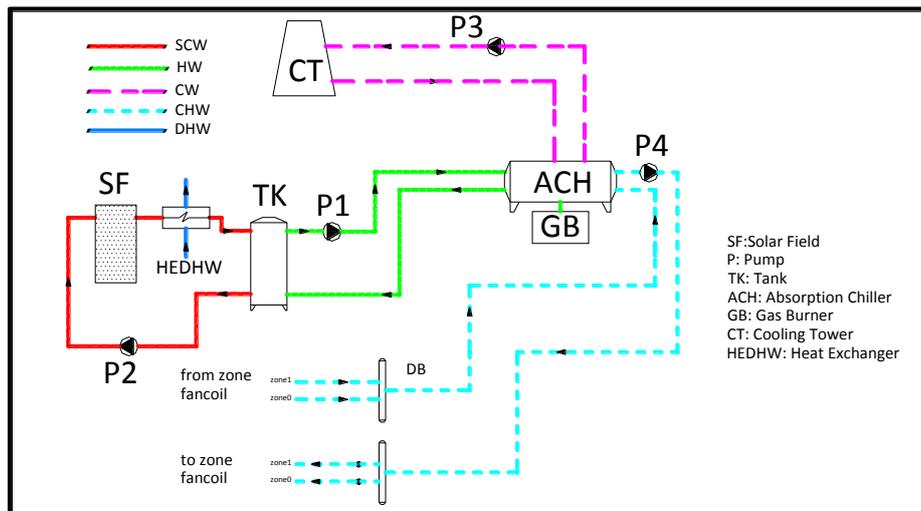


Figura 1 - Impianto di Solar Cooling in Arabia Saudita

Prima di svolgere le simulazioni, è stata svolta un'analisi dati provenienti dal campo solare, tramite apposite strumentazioni, su di un file *.lvm. I dati sono stati processati in MATLAB e mediati per il periodo di riferimento. Di seguito si riporta l'andamento di un giorno di Dicembre.

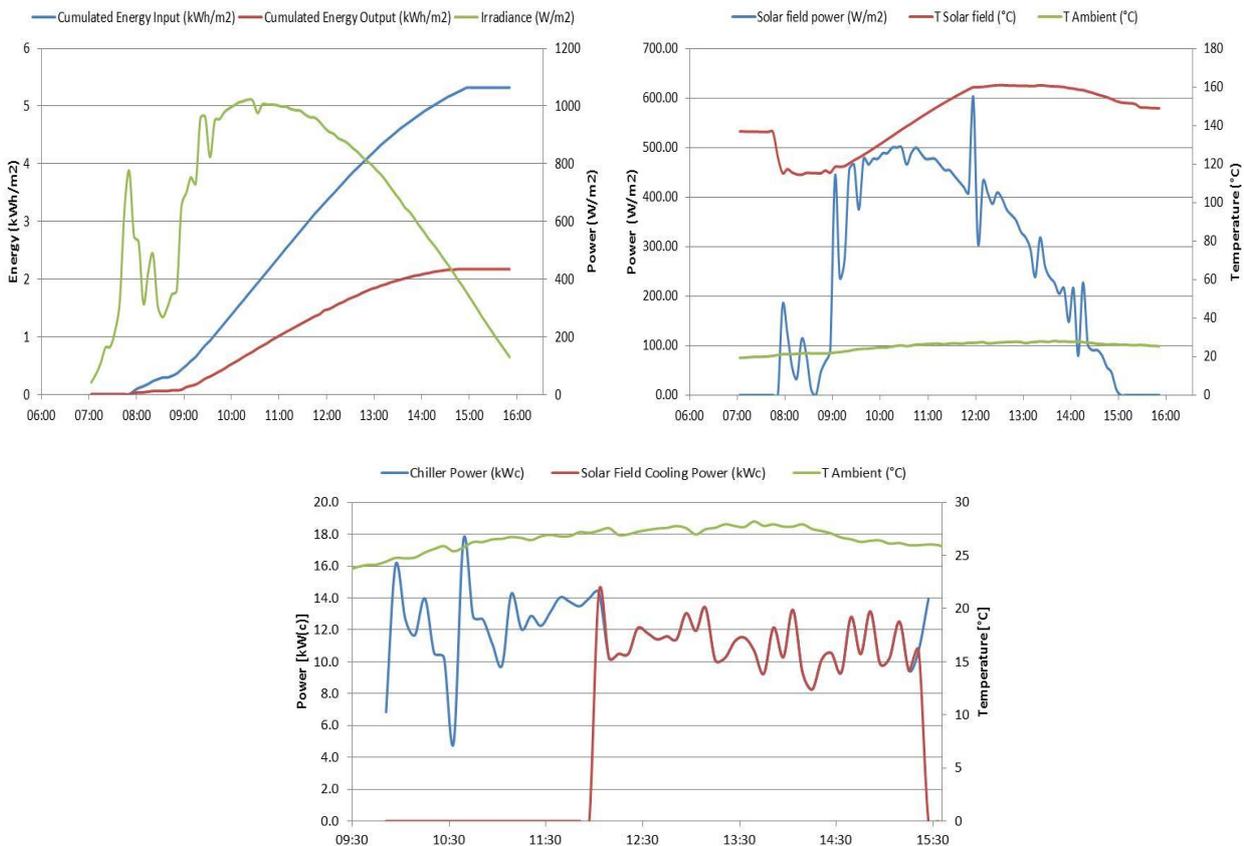


Figura 2 - Andamenti Dati Sperimentali: giorno 01/12/2014

Simultaneamente, il prototipo è stato analizzato tramite il software di simulazione TRNSYS, includendo gli algoritmi per ogni componente del sistema e facendo particolare attenzione alla torre di raffreddamento.

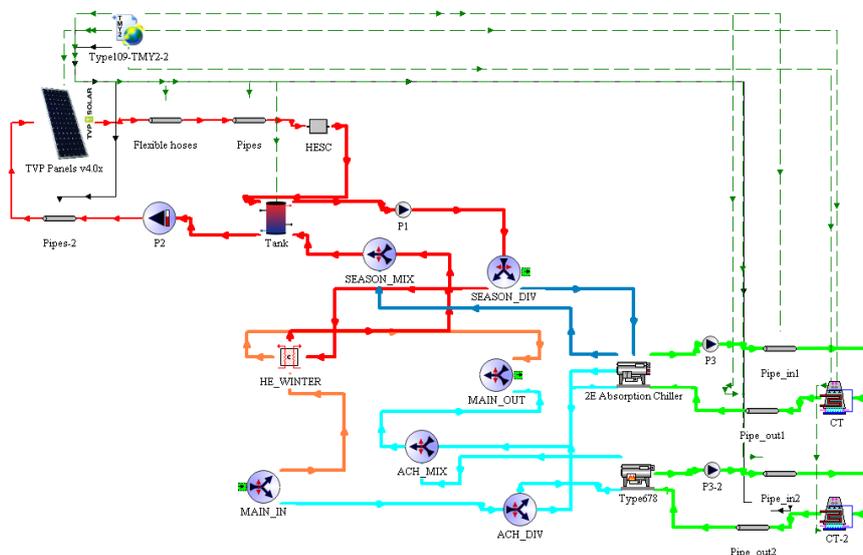


Figura 3 - Modello TRNSYS

I collettori “TVP Solar” sono solari termici piani evacuati e riescono a captare sia la radiazione diffusa che quella diretta. Questi pannelli hanno un’elevata efficienza anche ad alta temperatura e riescono ad alimentare un assorbitore bistadio, che necessita di temperature di ingresso di 160 – 180°C.

Il gruppo frigorifero utilizzato è una macchina a doppio effetto che lavora con acqua – bromuro di litio della ditta BROAD. La macchina ha una potenza frigorifera di 23 kW e un COP nominale di 1,1. All’interno di questo dispositivo è collocato anche il bruciatore a gasolio, con una potenza di 23kW, e una torre di raffreddamento. Nel caso in esame, la torre è stata scorporata dal blocco e analizzata separatamente. In particolare, l’impianto è stato simulato con tre tipi di modelli di torre: torre a circuito chiuso, torre a circuito aperto con mappa integrata, fornita dall’azienda Evapco, e una torre a circuito aperto con parametri di progettazione.

I componenti vengono collegati tra di loro in modo opportuno, al fine di poter simulare le prestazioni e il funzionamento dell’impianto. Per avere una simulazione più realistica sono state apportate delle modifiche rispetto l’impianto reale. In particolare, l’assorbitore è stato diviso in due elementi separati: un assorbitore bistadio per la refrigerazione e un assorbitore con gas burner, ad entrambi è stata collegata una torre di raffreddamento.

Il principio di funzionamento di impianto è il seguente: i pannelli TVP producono un fluido termovettore ad alta temperatura che alimenta l’assorbitore, il quale è in grado di convertire l’energia termica in energia frigorifera; nel caso in cui le temperature nei collettori siano troppo

basse, si attiva il gas burner dell'assorbitore per fornire il calore necessario ad avviare la refrigerazione, mentre il fluido caldo viene bypassato.

Sono state effettuate analisi giornaliere, prendendo in considerazione un giorno significativo per la stagione invernale e uno per la stagione estiva. Di seguito è riportato l'andamento estivo.

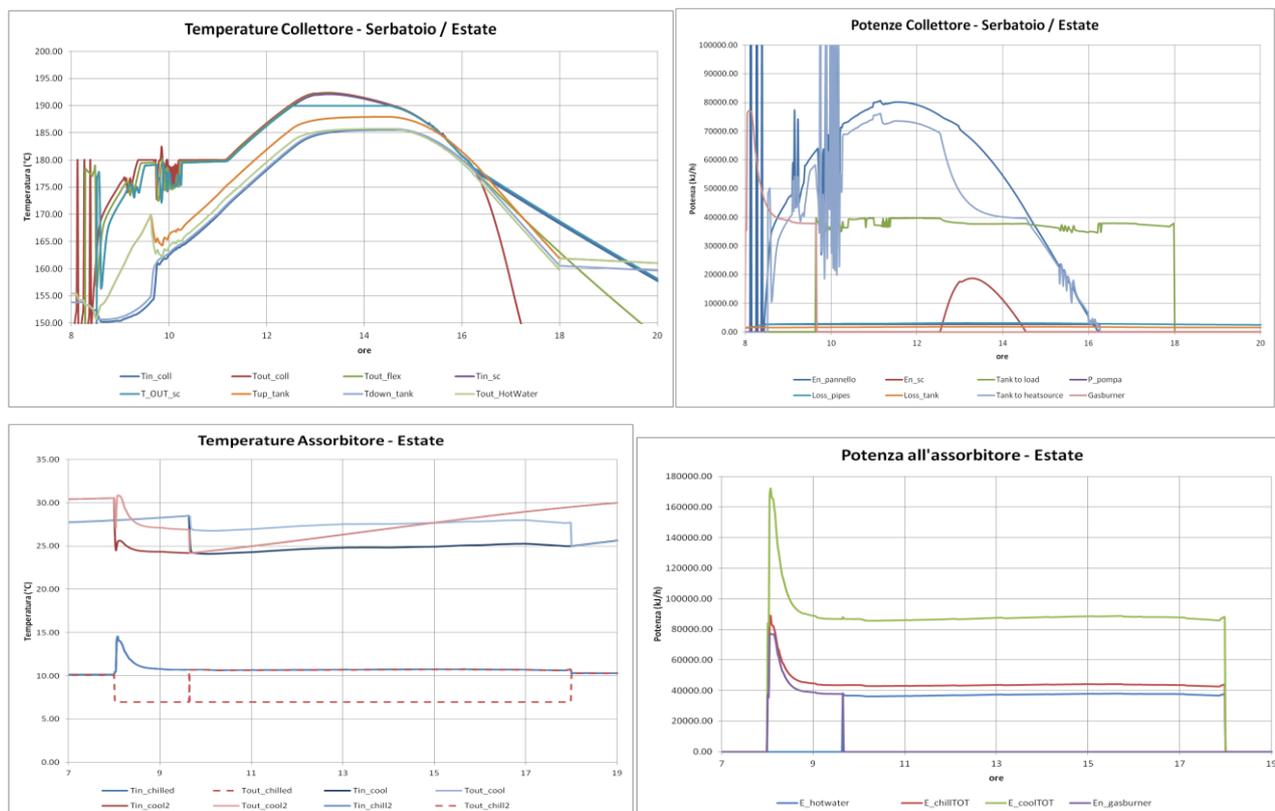


Figura 4 - Andamento estivo dell'impianto

Si nota che i collettori sono in grado di raggiungere temperature superiori a 180°C , in maniera tale da alimentare sia uno scambiatore per l'acqua calda sanitaria che l'assorbitore per tutto il periodo di funzionamento, a meno delle prime ore della giornata in cui si necessita del gas burner. In particolare, lo scambiatore si attiva quando il campo raggiunge temperature pari a 185°C e si disattiva quando le temperature sono inferiori a 175°C .

E' stata svolta anche un'analisi economica sull'impianto al variare dell'area dei collettori. Considerando una vita utile di 20 anni e tasso di attualizzazione del 5%, si riscontra un SPB di 18 anni e un VAN di -7100 € ; invece, considerando un incentivo del 50%, si può vedere che l'SPB si riduce a 9 anni, con un VAN di 4400 € , diventando così un investimento redditizio.

I lunghi periodi di pay - back sono dovuti principalmente alle tariffe di energia elettrica particolarmente basse nell'area geografica considerata perché incentivate dal governo.

In aggiunta, sono state svolte delle analisi settimanali per tutte le tipologie di torri, comparando i diversi effetti che ognuna definisce sull'impianto.

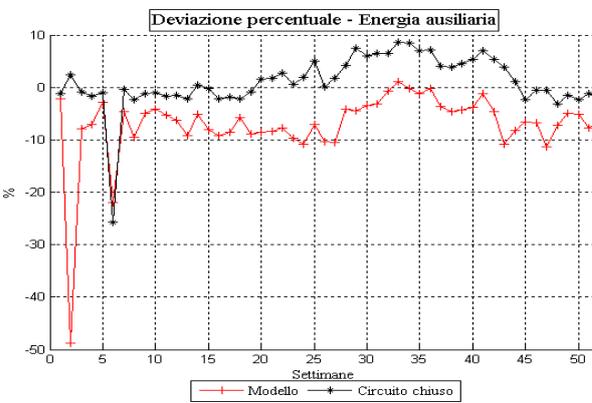
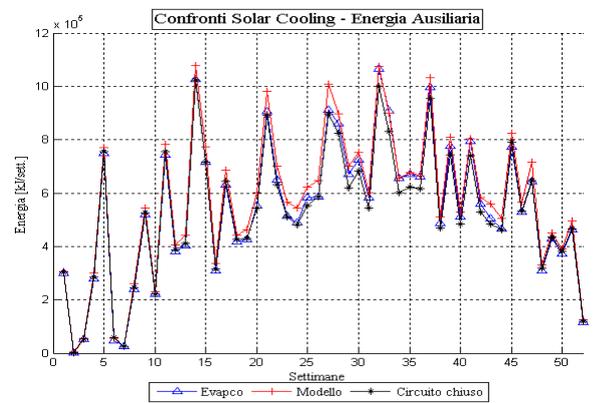
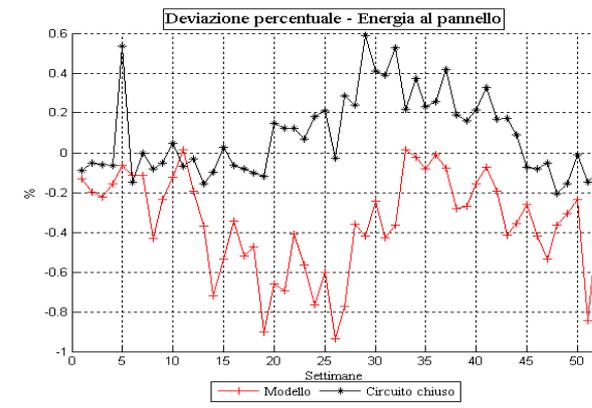
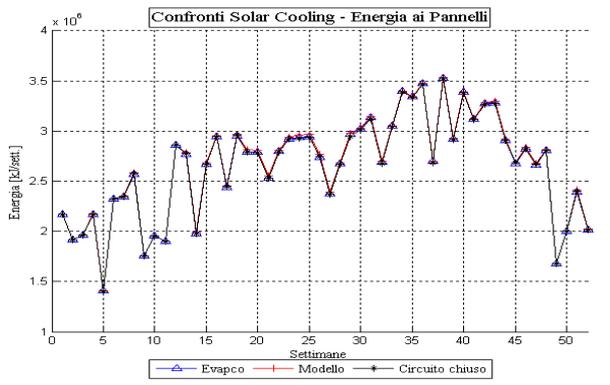
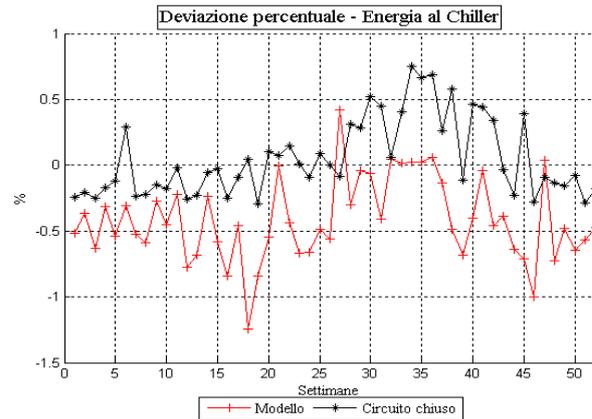
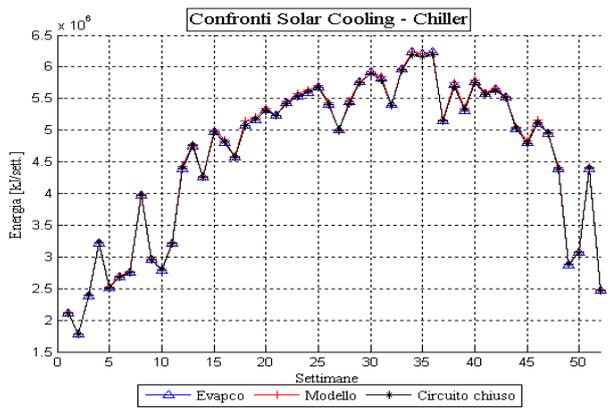
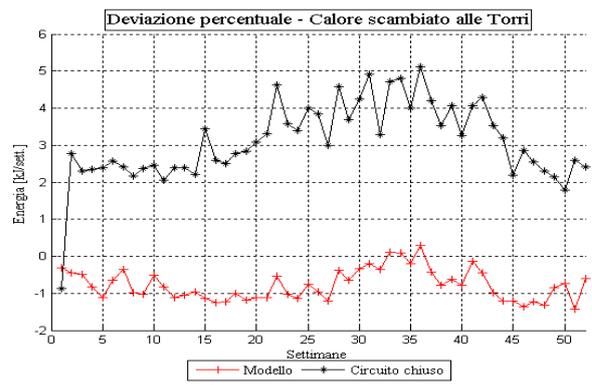
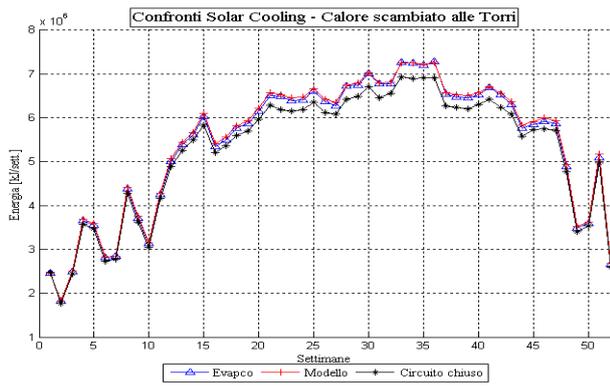


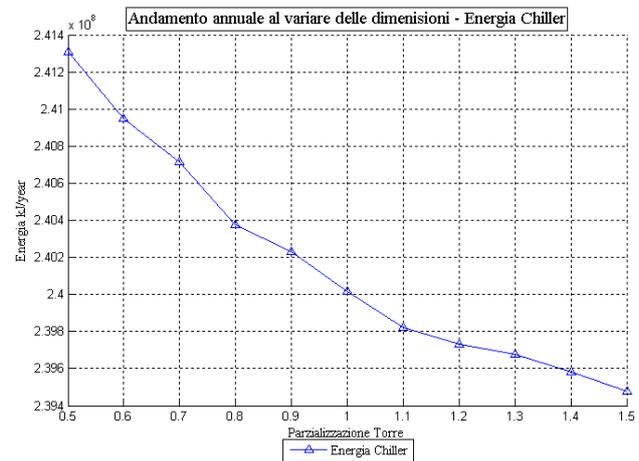
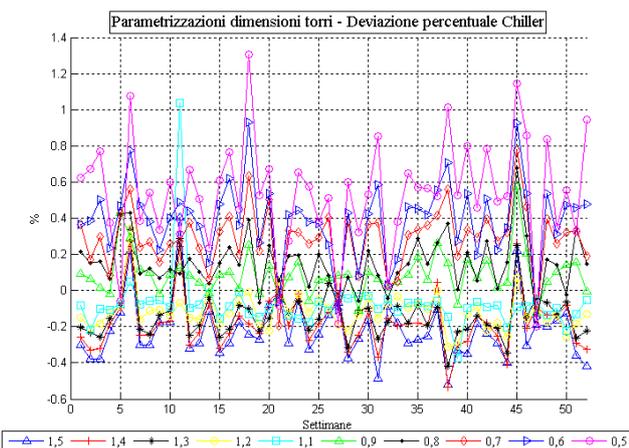
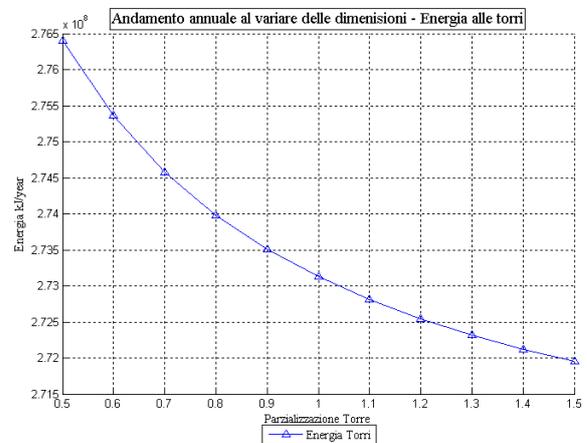
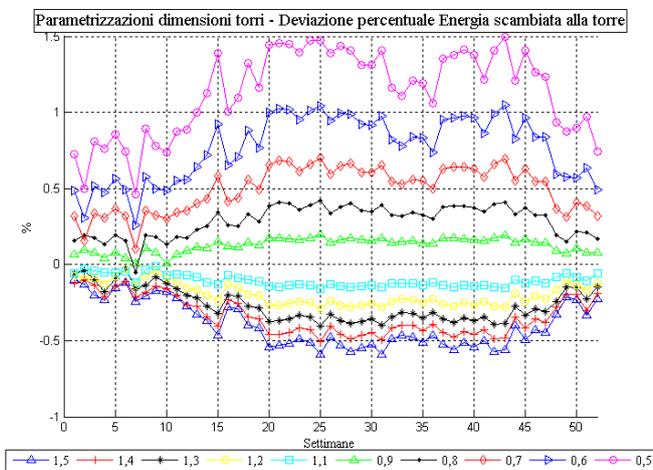
Figura 5 - Andamenti dell'impianto al variare della torre

Si nota che la scelta della torre non determina grandi variazioni nell'impianto, se non per l'energia termica ausiliaria fornita dal gas burner, la quale può avere variazioni fino al 10%, dovuto alla

differenza di temperatura proveniente dalla torre e che modifica gli scambi all'interno dell'assorbitore.

Un'ulteriore analisi è stata svolta al fine di valutare l'influenza dei parametri di funzionamento delle torri sulla torre stessa e sull'impianto. In particolare, sono stati analizzati i seguenti parametri: per la torre a circuito chiuso la portata d'aria e d'acqua utili per lo scambio, per la torre della Evapco è stata modificata la mappa e la portata d'aria, per la torre modello la portata d'aria mentre i coefficienti di funzionamento sono rimasti invariati.

Di seguito sono riportati gli andamenti della torre a circuito chiuso. Si nota che all'aumentare della torre diminuiscono le energie scambiate; questo è dovuto al fatto che, aumentando le dimensioni, diminuiscono i ΔT e gli scambi termici migliorano.



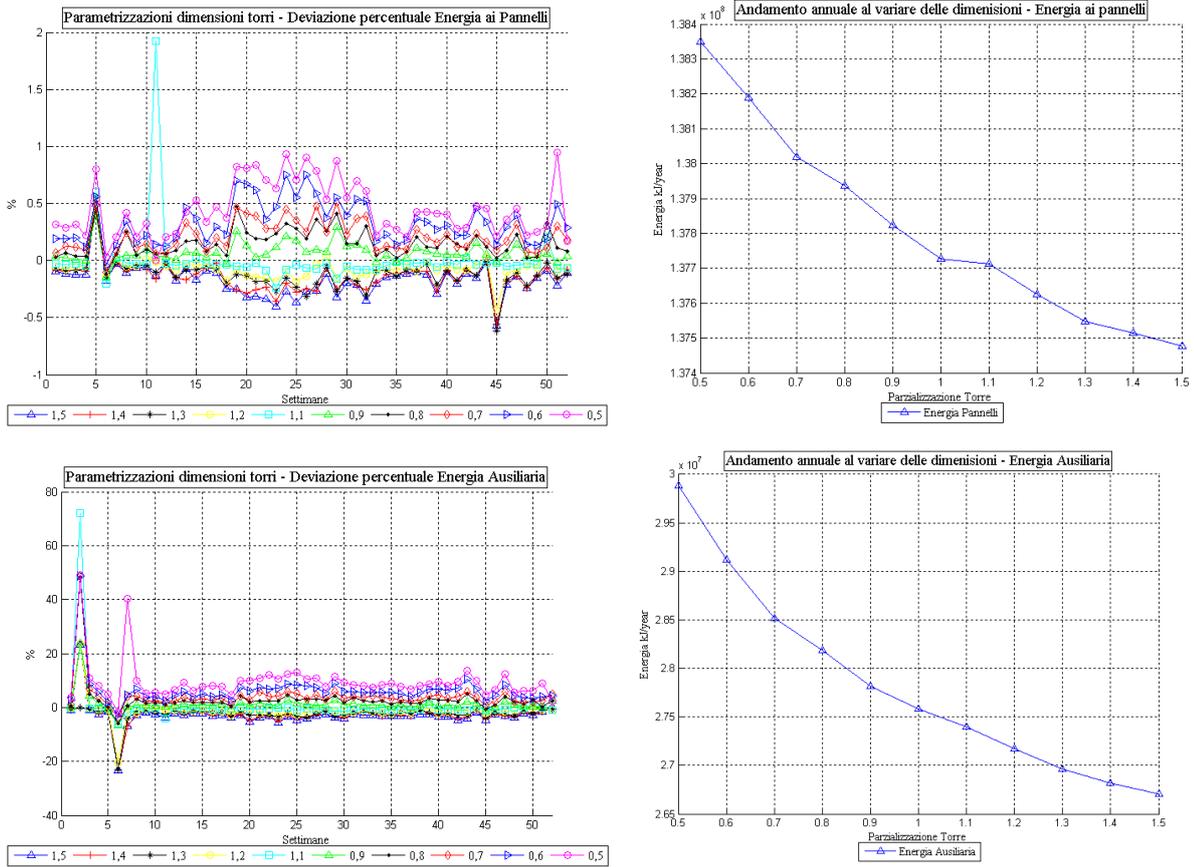


Figura 6 - Parzializzazione delle dimensioni della torre: circuito chiuso

Inoltre, è stata analizzata l'influenza dei controllori sul funzionamento delle torri. Per tutte le simulazioni precedentemente descritte, è stato utilizzato un controllore proporzionale. Di seguito sono stati utilizzati un controllore on/off, che permette il funzionamento unicamente a pieno carico, e un controllo a retroazione, che controlla la temperatura di uscita dalla torre e ne regola il lavoro in base ad una certa temperatura di setpoint. L'analisi è stata svolta unicamente sulla torre a circuito chiuso.

Dalle analisi risulta che il controllore on/off è da scartare, in quanto la torre non mantiene una potenza costante, ma stacca in continuazione provocando un'usura forzata dei ventilatori.

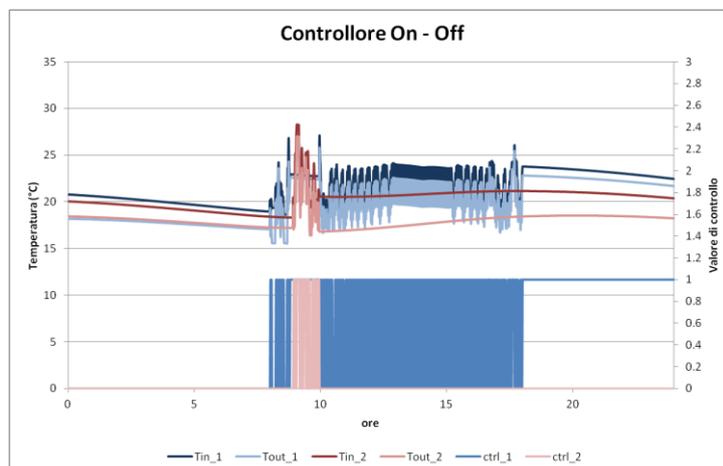


Figura 7 - Controllore On/Off

Il controllore a retroazione è stato valutato con tre differenti punti di set point: 20°C, 25°C e 30°C. Dalle simulazioni effettuate risulta che la torre lavora meglio con set point più elevati, sia in inverno che in estate. Il set point a 20°C risulta essere troppo basso per le condizioni di funzionamento dell'impianto.

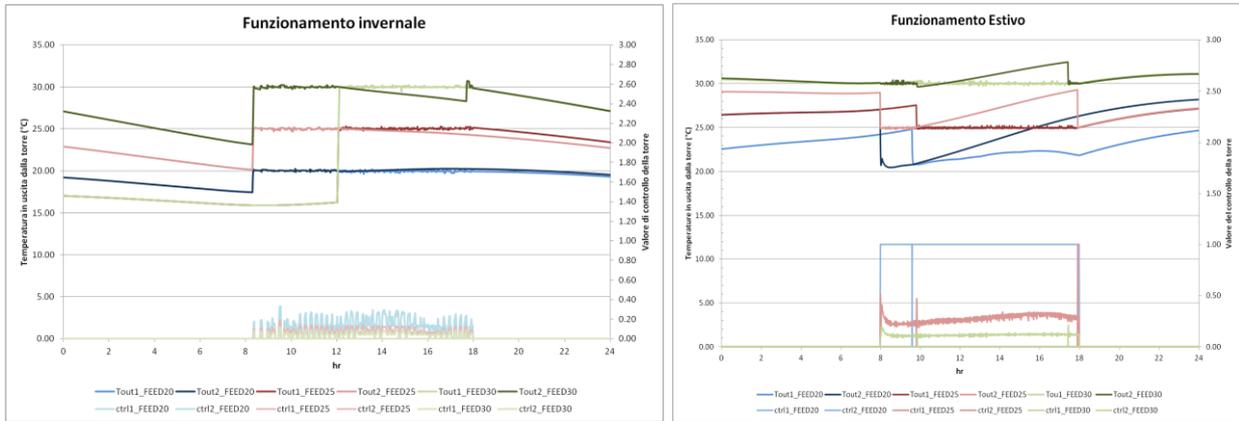


Figura 8 - Andamento invernale ed estivo del controllore a retroazione con differenti SetPoint

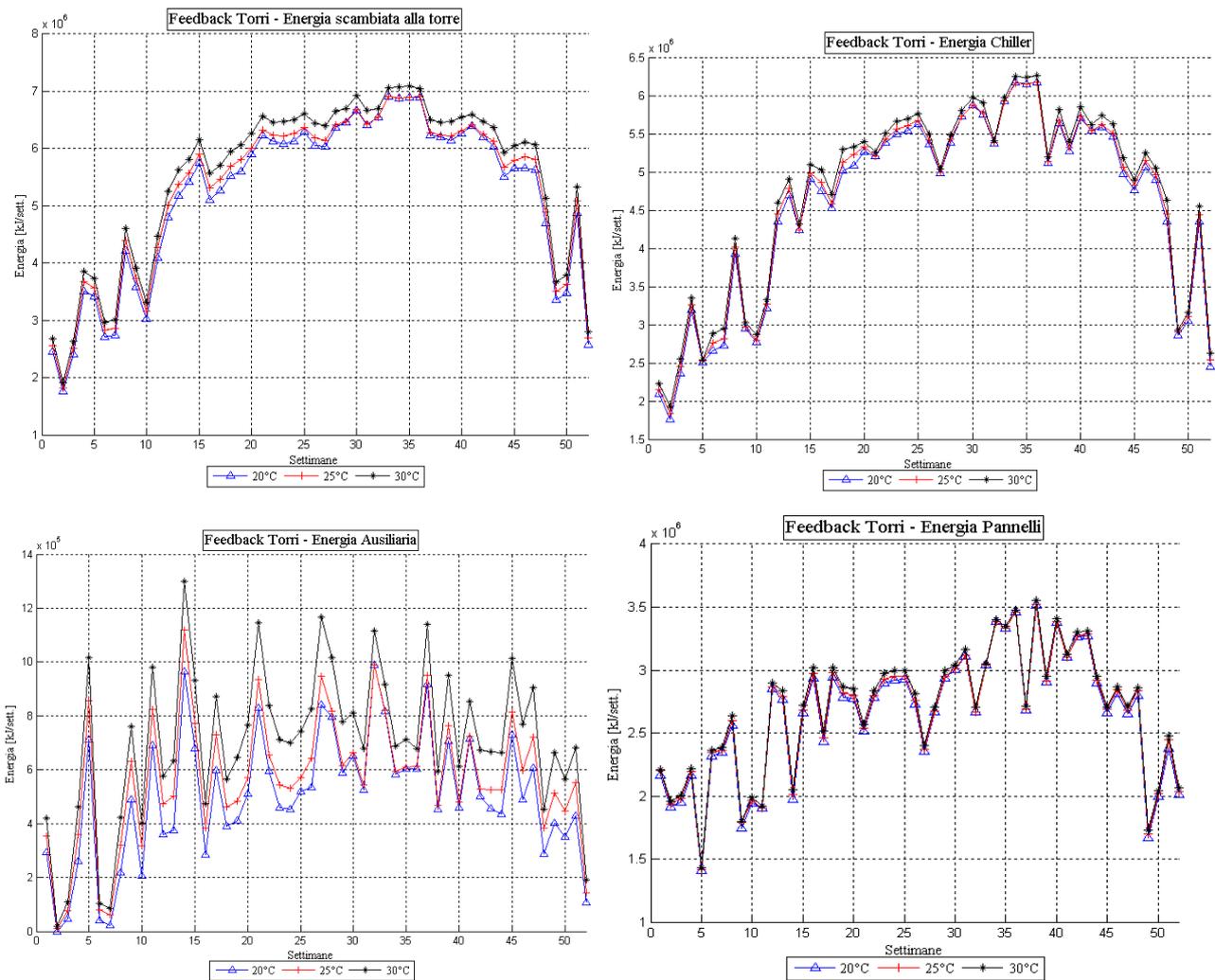


Figura 9 - Andamenti al variare del Set Point del controllore a retroazione